

Research Article

Open Access

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리시스템에서 오염물질의 분획별 정화효율 평가

김성현,^{1†} 서동철,^{2†} 박종환,¹ 이충현,¹ 최정호,³ 김홍출,⁴ 하영래,¹ 조주식,^{2**} 허종수^{1*}

¹경상대학교 응용생명과학부(BK21 농생명산업 글로벌 인재 육성 사업단)& 농업생명과학원, ²순천대학교 생물환경학과,
³한국환경공단 환경분석처, ⁴경남과학기술대학교 제약공학과

Evaluation of Treatment Efficiencies of Pollutants under Different Pollutant Fractions in Activated Sludge-Constructed Wetland System for Treating Piggery Wastewater

Seong-Heon Kim,^{1†} Dong-Cheol Seo,^{2†} Jong-Hwan Park,¹ Choong-Heon Lee,¹ Jeong-Ho Choi,³ Hong-Chul Kim,⁴ Yeong-Rae Ha,¹ Ju-Sik Cho^{2**} and Jong-Soo Heo^{1*} (¹Division of Applied Life Science (BK21 Program) & Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea, ²Department of Bio-Environmental Sciences, Sunchon National University, Suncheon, 540-742, Korea, ³Division of Environmental Analysis, Korea Environment corporation, Incheon, 404-708, Korea, ⁴Department of Pharmaceutical Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju, 660-758, Korea)

Received: 23 October 2012 / Revised: 13 November 2012 / Accepted: 5 December 2012

© 2012 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: To design and develop a constructed wetland for effective livestock wastewater treatment, it is necessary to understand the removal mechanisms of various types of pollutants in constructed wetlands. The objective of this study was to evaluate the treatment efficiency of pollutants under different types of fraction in constructed wetland system for treating piggery wastewater.

METHODS AND RESULTS: The piggery wastewater treatment plant that consisted of activated sludge tank, aerobic and anaerobic beds was constructed. The concentration

of COD(Chemical oxygen demand) in effluent by fraction was 71.5 mg/L for soluble COD, 142 mg/L insoluble COD. The concentration of SS(Suspended solid) in effluent by existing form was 102 mg/L for volatile SS, 15.5 mg/L for fixed SS. The concentration of T-N(Total nitrogen) and T-P(Total phosphorus) in effluent by existing form were 12.8 mg/L and 3.05 mg/L for dissolved form, 35.0 mg/L and 1.93 mg/L for suspended form. The removal efficiencies of COD, SS, T-N and T-P in hot season(summer and autumn) were higher than those in cold season(spring and winter). The removal efficiencies of COD, SS, T-N and T-P in effluent were 98.0, 99.0, 98.2 and 99.2% for all seasons, respectively.

CONCLUSION(S): The results indicated that removal types of pollutants were insoluble COD(ICOD), volatile SS(VSS), dissolved T-N(DTN) and dissolved T-P(DTP) in constructed wetlands for treating piggery wastewater.

Key Words: Activated sludge, Constructed wetlands, Fraction of pollutants, Piggery wastewater

[†]These authors contributed equally to this work.

*교신저자(Corresponding author),

Phone: +82-55-772-1963; Fax: +82-55-772-1969;

E-mail: jsheo@gnu.ac.kr

**공동교신저자(Co-Corresponding author),

Phone: +82-61-750-3297; Fax: +82-61-752-8011;

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

서 론

2010년말 19만여 축산농가에서 소돼지 등을 1,323만두 사육하고 있으며, 이들 축산농가에서 발생하는 총 가축분뇨의 발생량은 106,597 m³/일이다. 이 중 돼지 50,393 m³/일, 젓소 16,173 m³/일, 한우 40,031 m³/일로 돼지 사육농가에서 발생하는 가축분뇨가 47%로 가장 많은 양을 차지하고 있다. 2006년 3월부터 발효되고 있는 “런던협약 96의정서”에 따라 국제적으로 폐기물의 해양배출에 대한 한층 강화된 규제가 요구되고 있으며, 우리나라도 2012년 1월부터 해양환경보전 및 수산물안전을 위해 가축분뇨의 해양배출을 전면 금지하여 가축분뇨의 정화처리나 재활용 등 육상처리방법으로의 전환 대책이 시급한 실정이다(Ministry of Environmental, 2011).

축산폐수의 정화방법으로는 물리·화학적 처리방법과 생물학적 처리방법으로 구분된다. 물리·화학적 처리방법은 저류조와 스크린 및 침사지를 거쳐 적정 pH 및 접촉시간 하에서 응집조를 거친 다음 형성된 floc을 분리하는 방법으로서 약품처리에 의한 비경제성과 응집으로 생성된 다량의 슬러지 처리문제 및 약품투입 등으로 인한 2차 오염 등의 문제점이 있다.

액상 부식법의 경우 호기성 소화법의 단점을 보완한 생물학적 처리와 화학적 처리방법을 병행한 처리방법으로써 단시간에 처리가 가능하며, 처리공정이 단순하여 운전관리가 용이하고, 24시간 연속운전이 가능하다는 장점이 있지만 화학적 처리로 인한 2차 오염, 과도한 슬러지 발생량으로 인한 슬러지 처리비용 증가, 부식으로 인한 기기 수명의 단축 및 pH 조정조 설치 등의 문제점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다(Park *et al.*, 2011a).

현재까지 대부분의 축산분뇨 처리장에 적용된 공법은 혐기성 및 호기성 처리법들을 혼합한 형태의 생물학적 처리방법이 많이 이용되고 있지만, 생물학적 처리방법은 고도의 운전기술과 숙련된 운전 인력이 필요할 뿐만 아니라 많은 부지가 소요된다(Min *et al.*, 1998). 또한 공공 축산폐수 처리장 방류수 수질기준을 만족하고 있지만 방류수역에 비하여 높은 영양염류 함량으로 인하여 추가적인 처리시설의 도입이 필요한 것으로 보고되고 있다(Park *et al.*, 2010).

따라서 축산농가 환경의 특성을 감안하여 소·중규모나 그 이하의 규모에서 발생하는 축산폐수를 처리하기 위하여 시설비 및 유지관리비용이 저렴하고 지역의 환경에 잘 적응하며, 공정이 간단하고, 계획된 방류수질을 충족시킬 수 있는 축산폐수처리 공법의 개발이 절실히 요구되어 환경친화적 자연정화공법이 대두되었다.

본 연구진은 선행연구(Park *et al.*, 2011b; Seo *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2011)를 통해 인공습지에 의한 축산폐수 처리장의 여재, 처리조 조합방법, 부하량별에 대한 최적조건을 제시한 바 있다. 하지만 이러한 선행연구는 처리효율에만 초점을 두어 시행되었으며, 축산폐수의 성상 및 특성을 고려한 연구가 진행되지 않았다. 또한 인공습지 오폐수 처리장의 경우 겨울철 처리효율이 감소된다는 단점이 있어 계절변화에 따른 본 활성슬러지-인공습지 공법에 의한 축산폐수 처리장

의 대응성이 평가되어야 할 것으로 판단되었다.

이에 본 연구에서는 인공습지에 의한 돈사폐수처리장에 있어서 돈사폐수 중 오염물질의 분획별 처리 경향을 파악하기 위해 COD(Chemical oxygen demand)는 SCOD(Soluble COD)와 ICOD(Insoluble COD)로, SS(suspended solid)는 VSS(Volatile Suspended Solid)와 FSS(Fixed Suspended Solid)로, T-N(Total nitrogen)은 DTN(Dissolved T-N)과 STN(Suspended T-N) 및 T-P(Total phosphorus)는 DTP(Dissolved T-P)와 STP(Suspended T-P)로 구분하여 수처리 효율을 조사하였으며, 계절에 따른 오염물질 분획별 수처리 효율을 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 실험에 사용된 시험 돈사폐수는 경남 진주시 이반성면 장안리에 위치한 실제 돈사농가에서 채취하여 시험 원수로 사용하였으며, 시험폐수의 화학적 특성은 Table 1과 같이 COD, SS, T-N 및 T-P의 함량은 10,639±2,451, 9,400±2,514, 5,024±1,127 및 725±102 mg/L로 Seo 등(2006a)이 보고한 생활하수에 비해 매우 고농도임을 알 수 있었으며, 일반적인 돈사폐수의 농도와 비슷한 수준이었다(Lim and Ryu, 2006; Won *et al.*, 2009).

현장 활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에 사용한 여재의 이화학적 특성은 Table 2에서 보는 바와 같다. 현장 활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에 사용된 여재는 선행연구 결과(Park *et al.*, 2011b) 최적여재를 사용하였으며, 호기성조의 경우 왕사, 쇠석 및 방해석을 3 : 2 : 1로 혼합한 여재를 사용하였고, 혐기성 조의 경우 왕사, 쇠석 및 제올라이트를 3 : 2 : 1로 혼합한 여재를 사용하였다. 호기성조 및 혐기성조 여재의 유효입경(여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 10%되는 부분의 여재의 입경; d₁₀)은 각각 2.6 mm이었으며, 균등계수(여재를 입경 순으로 나열하였을 때 작은 입경으로부터 중량 60%되는 입경과 10%되는 입경과의 비: d₆₀/d₁₀)는 각각 2.53 및 2.62이었다.

Table 1. Characteristics of the piggery wastewater used

	pH	EC	COD	SS	T-N	T-P
	dS/m		mg/L			
Average	6.8	2.64	10,639	9,400	5,024	725
S.D [¶]	0.7	0.28	2,451	2,514	1,127	102

[¶] Standard Deviation

Table 2. Characteristics of the filter media used

	pH	EC	O.M	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
	1:5	dS/m	%	----- mg/kg -----									
Mixed filter media 1 for Aerobic bed	8.03	0.06	0.59	11.1	30.5	15,688	69,373	2,484	308.8	3,741	1.35	149.2	85.5
Mixed filter media 2 for Anaerobic bed	7.5	0.05	0.69	1,272	51.4	1,643	1,451	1,009	324.1	2,972	11.4	114.6	5.2

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장 설계 및 시공

본 실험에 사용된 처리장은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 활성슬러지조-호기성조-혐기성조를 연계하여 하나의 시스템으로 운전이 가능하게 제작하였다. 활성슬러지조는 세로 4 m × 가로 2 m × 높이 1 m로 용량이 8 m³이 되게 2단으로 구성하여 제작하였으며, 인공습지의 호기성조의 경우 세로 4 m × 가로 4 m × 높이 1 m로 용량이 16 m³이 되게 제작하였고, 3차 혐기성조의 경우는 세로 10 m × 가로 5 m × 높이 1 m로 용량이 50 m³이 되게 제작하였다. 활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장의 호기성조에는 왕사, 쇠석 및 방해석을 3 : 2 : 1의 비율로 혼합하여 여재를 충전하였고, 혐기성조에는 경우는 왕사, 쇠석 및 제올라이트를 3 : 2 : 1의 비율로 혼합하여 충전하였다. 돈사폐수처리장에서 돈사폐수의 흐름은 활성슬러지조에 돈사폐수를 800 L/day 유입시켜 1차 처리하였고, 유출된 활성슬러지 처리수는 호기성조에 유입되게 하여 2차 처리하였으며, 호기성조 처리수는 자연유하식으로 혐기성조로 유입되게 하여 3차 처리하였다. 혐기성조에 유입된 돈사폐수는 수평의 지그재그 방향으로 흐르게 하였다.

운영에 있어서는 펌프를 사용하여 매일 800L씩 주입을 하였으며 유지관리를 위해 정기적으로 일주일에 한번씩 SVI(Sludge volume index), MLSS(Mixed liquor suspended solid) 및 SRT(Sludge retention time) 관리를 통해 활성슬러지조의 활성이 떨어지지 않게 관리를 하였으며 주변 제조작업 및 보수작업을 실시하여 관리 및 운영을 하였다.

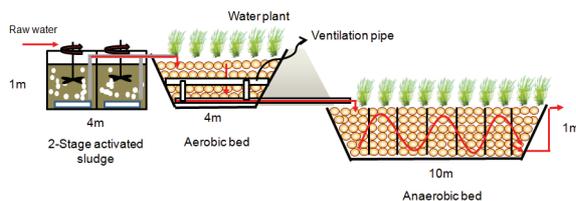


Fig. 1. Diagram of a piggery wastewater treatment plant.

실험방법 및 조사시기

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 오염물질 분획별에 따른 수처리효율의 2011년 4월 1일부터 2011년 5월 30일까지 2개월 동안 조사하였으며, 돈사폐수 중

COD의 분획별에 따른 실험은 각각 유리섬유 여지(GF/C)에 돈사폐수를 흡인 여과시켜 여액을 SCOD로 하고, GF/C에 여과시켜 여과지를 통과하지 못한 것을 ICOD로 구분하였다. 돈사폐수 중 SS의 분획별에 따른 실험은 하수를 회화시켰을 때 타서 휘발되어 감량되는 부분인 VSS와 잔류하는 부분인 FSS로 구분하였고, T-N과 T-P의 분획별에 따른 실험은 GF/C에 여과시켜 여과지를 통과한 여액을 DTN 및 DTP로 하고, GF/C에 여과시켜 여과지를 통과하지 못한 것을 STN 및 STP로 구분한 후 오염물질 분획별 수처리효율을 조사하였다. 시료의 채취는 처음 3주간은 주 1회 3반복, 마지막 주에는 격일로 4회 3반복으로 분석하여 총 21회 분석한 결과를 분석하였다.

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 계절별 오염물질의 수처리효율은 2011년 4월부터 2012년 3월까지 조사하였으며, 봄은 3, 4, 5월, 여름은 6, 7, 8월, 가을은 9, 10, 11월 및 겨울은 12, 1, 2월로 구분하여 주 1회로 시료를 채취하여 COD, SS, T-N 및 T-P를 오염물질 분획별로 나누어 처리효율을 평균하여 조사하였다.

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 오염물질 분획별 처리효율은 다음의 식을 통하여 산출하였다.

$$\text{처리효율} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

분석방법

수질분석은 수질오염공정시험법과 APHA의 standard method에 준하여 다음과 같이 하였다(APHA, 2005; Ministry of environmental, 2011). 산성 과망간산 칼륨법(적정법), 부유물질은 유리섬유여과지(GF/C)를 이용한 여과법, 총 질소는 알칼리성 과황산칼륨을 넣고 Autoclave에서 120°C, 30분 동안 반응시킨 뒤 자외선/가시광선 분광법(산화법)으로 측정하였으며, 총 인은 4% 과황산칼륨을 넣고 Autoclave에서 120°C, 30분 동안 반응시킨 뒤 자외선/가시광선 분광법으로 분석하였다.

통계처리

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 오염물질 분획별 처리효율은 SPSS19버전을 사용하여 평균과 표준편차를 조사하였다.

결과 및 고찰

오염물질 분획별 처리효율

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 오염물질 분획별 수처리효율 조사는 돈사폐수 원수, 활성슬러지조 처리수, 호기성조 처리수 및 혐기성조 처리수를 구분하여 조사하였고, COD의 오염물질 분획별 변화를 조사한 결과는 Fig. 2 에서 보는 바와 같다.

돈사폐수 원수의 COD는 11,002 mg/L정도로 soluble형태가 4,131 mg/L, insoluble형태가 6,781 mg/L정도로 비교적 insoluble형태가 높게 유입되었다. 활성슬러지조 처리수의 COD는 3,119 mg/L로 그 중 soluble형태가 1,187 mg/L, insoluble 형태가 1,932 mg/L으로 유입원수에 비해 활성슬러지조 처리수에 insoluble형태가 높게 처리되었다. 이는 활성슬러지조에서 호기성 미생물들에 의해 대부분의 유기물이 분해됨으로써 insoluble형태 COD가 감소한 것으로 판단된다. 호기성조 처리수의 COD는 1,793 mg/L정도로 soluble형태가 786 mg/L, insoluble형태가 1,026 mg/L정도이었고, 혐기성조를 통과한 방류수의 COD는 213.5 mg/L정도로 soluble형태가 71.5 mg/L, insoluble형태가 142 mg/L정도이었다.

따라서 돈사폐수처리장의 COD 오염물질 분획별 처리효율은 전반적으로 soluble(94%)형태가 insoluble(93%)형태에 비해 높았다.

Park 등(2011a)은 돈사폐수처리장의 호기성조와 혐기성조내에서 COD의 감소는 수생식물의 뿌리의 미생물에 의해 유기물이 표면에서 1.5 cm 깊이에서 분해되어 감소한다고 보고된 바 있는데, 이 결과를 미루어 보아 여재에 여과된 soluble형태가 insoluble형태에 비해 처리효율이 좋은 것으로 사료된다. Seo 등(2006b)은 하수처리를 위한 인공습지에서 COD의 처리효율 또한 돈사폐수를 처리한 경우와 유사한 경향으로 보고된 바 있다.

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 오염물질 분획별 SS함량은 변화를 조사한 결과는 Fig. 2 에서 보는 바와 같다. 돈사폐수 원수의 SS함량은 16,488 mg/L정도로 volatile형태가 12,013 mg/L, fixed형태가 4,475 mg/L정도로 SS함량은 대부분은 volatile 형태였다. 활성슬러지조 처리수의 SS는 3,316 mg/L로 volatile형태가 3,094 mg/L, fixed형태가 222 mg/L정도이었고, 호기성조 처리수의 SS함량은 2,668 mg/L정도로 volatile형태가 2,412 mg/L, fixed형태가 255 mg/L정도이었다. 활성슬러지조 및 호기성조의 처리수 농도는 별 차이 없이 유사한 경향이었는데, 이는 호기성조의 경우 체류시간이 짧고 수직여과 방식에 따라 여재에 여과되지 않기 때문으로 사료된다. 혐기성조를 통과한 방류수의 SS는 118 mg/L정도로 volatile형태가 102 mg/L, fixed형태가 15.5 mg/L정도이었다. Seo 등(2006b)은 인공습지에서 하수 중 오염물질 분획별 수처리효율 결과 방류수 중 대부분의 SS는 VSS형태였다고 하였는데, 본 실험에 있어

서도 동일한 경향을 보였다. 따라서 돈사폐수처리장에서 SS 분획별 처리효율은 전반적으로 fixed 형태(99.2%)가 volatile형태(97.8%)에 비해 높았다.

일반적으로 인공습지에 의한 SS의 처리는 주로 여과기능에 의해 이루어지는데, 이러한 여과는 궁극적인 처리가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 여과된 부유물질은 입자상태로 처리조내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 고형물질 중에서 오염성분들은 미생물에 의한 생물학적 분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수 그리고 기타 화학반응 등을 거치면서 궁극적으로 처리된다(Lee *et al.*, 2012).

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 오염물질 분획별 T-N의 존재형태별 변화를 조사한 결과는 Fig. 3 에서 보는 바와 같다. 돈사폐수 원수의 T-N함량은 4,641 mg/L정도로 dissolved형태가 840 mg/L, suspended형태가 3,801 mg/L정도로 suspended형태가 대부분이었다. 활성슬러지조 처리수의 T-N함량은 1,089 mg/L정도로 dissolved형태가 196.1 mg/L, suspended형태가 892.8 mg/L이었으며, 호기성조 처리수의 T-N함량은 743 mg/L정도로 dissolved형태가 196 mg/L, suspended형태가 547 mg/L정도이었다. 혐기성조를 통과한 방류수의 T-N함량은 47.8 mg/L정도로 dissolved형태가 12.8 mg/L, suspended형태가 35.0 mg/L정도이었다.

따라서 돈사폐수처리장의 T-N 분획별 처리효율은 전반적으로 suspended(99.1%)형태가 dissolved(98.5%)형태에 비해 높았는데, Seo 등(2006b)은 하수처리를 위한 인공습지 방류수에서 대부분의 T-N의 형태는 dissolved 형태라고 보고한 바 있는데, 이는 본 연구결과와 상반되는 경향이였다. 이는 돈사폐수 원수의 특성상 고형물 분리가 제대로 이루어지지 않아 일반적인 가정하수에 비해 상대적으로 suspended 높은 것으로 사료된다.

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 오염물질 분획별 T-P의 변화를 조사한 결과는 Fig. 3 에서 보는 바와 같다. 돈사폐수 원수의 T-P함량은 518 mg/L정도로 dissolved형태가 221 mg/L, suspended형태가 297 mg/L정도이었다. 활성슬러지조 처리수의 T-P함량은 164 mg/L정도로 dissolved형태가 42.5 mg/L, suspended형태가 121.5 mg/L였으며, 호기성조 처리수의 T-P함량은 68.6 mg/L정도로 dissolved형태가 17.8 mg/L, suspended형태가 50.8 mg/L정도이었다. 혐기성조를 통과한 방류수의 T-P함량은 3.05 mg/L정도로 dissolved형태가 1.13 mg/L, suspended형태가 1.93 mg/L정도이었다. 따라서 돈사폐수처리장의 T-P 분획별 처리효율은 전반적으로 dissolved(99.4%)형태에 비해 suspended(99.5%)형태가 높았는데 Seo 등(2006b)은 하수중에서 방류수의 대부분이 DPT형태라는 상반된 결과를 보고한 바 있다. 이는 본 돈사폐수처리장의 유입원수 특성상 고형물 분리가 제대로 이루어지지 않아 suspended 형태가 약간 높았기 때문으로 사료된다.

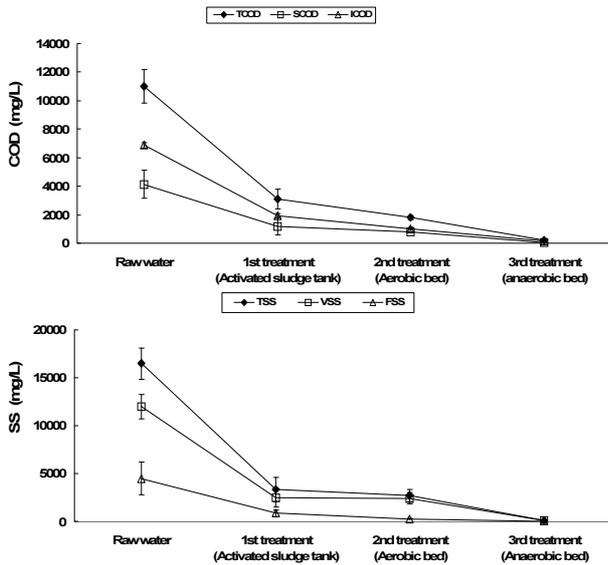


Fig. 2. Variations of COD and SS in the water under different pollutant fractions in piggery wastewater treatment plant by constructed wetlands.

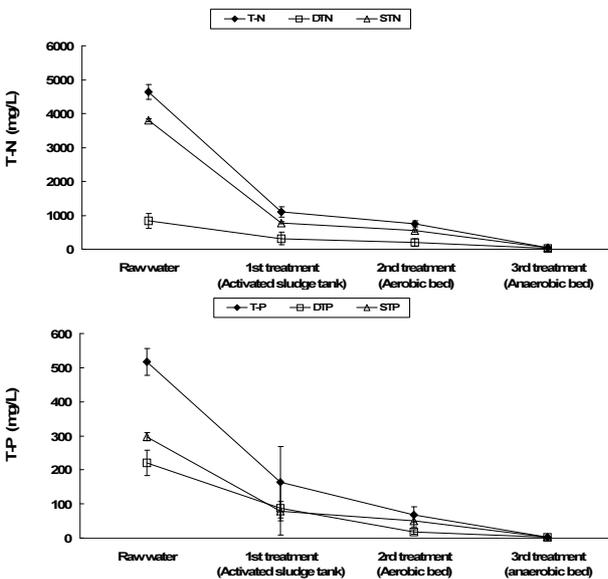


Fig. 3. Variations of T-N and T-P in the water under different pollutant fractions in piggery wastewater treatment plant by constructed wetlands.

계절별 오염물질 처리효율

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 계절에 따른 COD 및 SS의 오염물질 분획별 수처리효율은 Fig. 4에서 보는 바와 같다. 돈사폐수처리장에서 계절에 따른 오염물질 분획별 COD 수처리효율은 여름과 가을에는 SCOD가 66.37-72.48%였고, ICOD는 26.40-33.42%이었으며, 봄과 겨울에는 SCOD가 12.96-62.22%였고, ICOD는 36.36-85.48%로서 여름과 가을이 봄과 겨울에 비해 처리량이 약간 많았다. 그러나 4계절 모두 방류수의 처리효율은 98.8-99.8%의 높은 수처리효율을 나타내었다.

돈사폐수처리장에서 계절에 따른 오염물질 분획별 SS 처리효율은 여름과 가을에는 FSS가 13.07-13.13%이었고, VSS는 86.10-86.23%이었으며, 봄과 겨울에는 FSS가 13.03-13.04% 및 VSS가 85.92-85.95%으로서 여름과 가을이 봄과 겨울에 비해 SS처리량이 약간 많았으며, VSS가 FSS에 비해 처리량이 많았다. 그러나 4계절 모두 방류수의 처리효율이 98% 이상의 높은 처리효율을 나타내었다. 돈사폐수처리장에서 SS의 일차적인 처리기작은 주로 여체에 의한 여과이므로 계절이나 온도에 관계없이 일정한 처리효율을 나타내었다(Seo *et al.*, 2006a)

돈사폐수처리장에서 계절에 따른 T-N 및 T-P의 오염물질 분획별 처리량을 조사한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 계절에 따른 오염물질 분획별 T-N의 처리량은 여름과 가을에는 DTN이 72.65-72.92%이었고, STN이 25.56-26.46%이었으며, 봄과 겨울에는 DTN이 71.96-72.82% 및 STN이 26.21-26.34%으로서 여름과 가을이 봄과 겨울에 비해 T-N 처리효율이 약간 높았으며, DTN이 STN에 비해 처리량이 훨씬 많았다. Kim 등(2009)에 따르면 생물학적 고도처리시설에서 질소제거는 질산화와 탈질로 구성되어 있으며 질소제거 공정은 호기성 독립영양 미생물에 의한 질산화를 거쳐 중속영양 미생물에 의한 무산소 반응조에서의 탈질에 의해 기체형태의 질소(N₂)로 환원시킨 후 공기 증으로 방출하여 제거한다. 그리고 이러한 질소제거 성능을 향상시키려면 미생물의 활성을 높게 유지하는 환경조성이 필요하나 겨울철에는 다른 계절에 비해 활성슬러지조 및 호기성조의 미생물 생육이 저조하기 때문에 질소화합물을 질산화하여 NO₃-N의 형태로 전환하지 못함으로써 혐기성조의 탈질이 일어나지 않기 때문에 겨울철에는 일시적으로 처리효율이 다소 낮아지는 경향이 있다. 그러나 본 축산폐수처리장의 경우 4계절 모두 98% 이상의 높은 처리효율을 나타내었다.

활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 계절에 따른 T-P의 오염물질 분획별 처리효율은 여름과 겨울에는 DTP가 62.86-63.10%, STP가 36.73-36.87%이었고, 봄과 겨울에는 DTP가 각각 62.76-62.86% 및 STP가 36.68-36.73%으로서 여름과 가을이 봄과 겨울에 비해 T-P처리량이 약간 많았으며, DTP가 STP에 비해 처리량이 훨씬 많았으나 본 인공습지는 4계절 모두 방류수의 처리효율은 99% 이상으로 높은 처리효율을 보였다. 인은 질소와 더불어 식물생장에 필수 요소로서 자연계에서는 주로 인산으로 존재하며 인산은 질소와는 달리 물에 용해가 잘 안되고 토양에 견고하게 부착되어 광물질이나 유기물질들과 복합화합물의 형태를 이루고 있다(Yun *et al.*, 1998)

일반적으로 페·하수처리에 적용 가능한 인 처리 방법은 칼슘, 알루미늄, 철 등의 금속염을 투입하고 생성되는 불용성 침전물을 걸러내는 화학적 방법, 고힐입자에 흡착되어 있는 성분의 여과(Addiscott and Thomas, 2000), 용해상태의 성분은 여재입자나 기타 다른 입자에의 흡착, 그리고 식물에 의한 흡수, 미생물에 의한 분해 등을 이용하는 생물학적 처리방법이 있다(Seo *et al.*, 2006a; Park *et al.*, 2011a). 활성슬러

지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 인 처리의 주 요기능은 미생물의 분해, 여과와 흡착인데 부하량이 처리조의 용량을 초과할 경우에 누적되었던 인 성분이 세척에 의해서 또는 용출되어 오히려 유출수의 농도가 높게 나타날 수 있다 (Yang *et al.*, 2001; Seo *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2011b). 이와 같이 본 활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장의 정화효율은 유입수의 농도가 매우 높아 처리효율이 다른 오폐수에 비해 높게 나오므로 인공습지 평가 시에 주의 해야 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

이상의 결과를 미루어 볼 때, 활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장은 분획별 및 계절별 안정적으로 돈사폐수를 처리 할 수 있었으며, 환경부 허가 규제대상시설(기타지역)의 가축분뇨처리시설 방류수 수질기준(Ministry of Environmental, 2011)은 BOD, SS가 각각 150 mg/L이고, T-N이 850 mg/L이며, T-P가 200 mg/L으로 본 돈사폐수처리장의 방류수 수질은 이들 수질기준을 모두 만족하였다.

하지만 본 연구는 1년간 단기간의 연구결과로서 보다 장기적인 모니터링을 통하여 구체적인 처리효율 및 안정성을 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

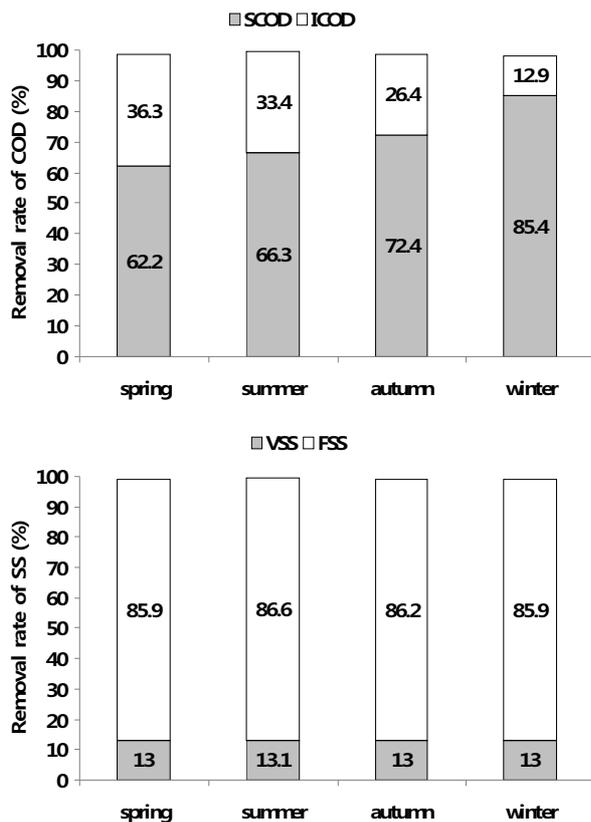


Fig. 4. Removal rates of COD and SS in the water on seasons under different pollutant fractions in piggery wastewater treatment plant by constructed wetlands.

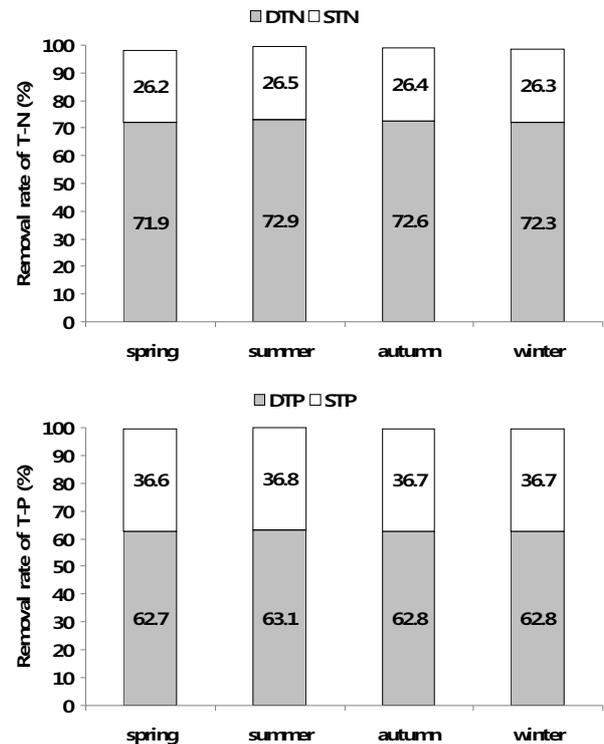


Fig. 5. Removal rates of T-N and T-P in the water on seasons under different pollutant fractions in piggery wastewater treatment plant by constructed wetlands.

요약

돈사폐수의 분획별 및 우리나라 기후변화 특성에 대한 활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장의 대응성을 검토하기 위하여 오염물질 분획별 및 계절별 수처리효율을 조사하였다. 오염물질 분획별 수처리효율을 조사한 결과 최종 방류수의 COD는 213.5 mg/L 정도로 soluble 형태가 71.5 mg/L, insoluble 형태가 142 mg/L 정도이었고, SS 함량은 118 mg/L 정도로 volatile 형태가 102 mg/L, fixed 형태가 15.5 mg/L 정도이었으며, 최종 방류수의 T-N 함량은 47.8 mg/L 정도로 dissolved 형태가 12.8 mg/L, suspended 형태가 35.0 mg/L 정도이었다. 또한 방류수의 T-P 함량은 3.05 mg/L 정도로 dissolved 형태가 1.13 mg/L, suspended 형태가 1.93 mg/L 정도이었다. 활성슬러지-인공습지 공법에 의한 돈사폐수처리장에서 계절별 수처리효율을 조사한 결과 COD, SS 및 T-P의 처리효율은 98, 99 및 99% 이상으로 계절에 따라 별 다른 차이 없이 높은 처리효율을 보였고, T-N 처리효율은 여름 (99.5%) ≥ 가을 (99.1%) ≥ 겨울 (98.7%) ≥ 봄 (98.2%)의 순으로 여름철에 가장 높은 처리효율을 보였다.

감사의 글

This research was supported by Bio-industry Technology Development Program 112014-3, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Republic

of Korea. This work was also supported by the National Research Foundation of Korea grant funded by the Korea Government (Ministry of Education, Science and Technology), [NRF-2010-359-F00003, NRF-2010-0025548].

참고문헌

- Addiscott, T.M., Thomas, D., 2000. Tillage, mineralization and leaching: phosphate, *Soil & Tillage Research*, 53, 255-273.
- APHA, AWWA, WCF., 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association. Washington. DC.
- Kim, D.J., Yoo, I.K., Ahn, D.H., 2009. Analysis on the distribution of nitrogen and phosphorus removing microorganisms and nitrifying activity in a trickling filter, *Journal of the environmental sciences*, 18(6), 691-698.
- Kim, A.R., Kim, H.C., Seo, D.C., Park, J.H., Kim, S.H., Lee, S.T., Jeong, T.U., Choi, J.H., Kim, H., Cho, J.S., Heo, J.S., 2011. Selection of optimum filter media in small-scale livestock wastewater treatment apparatus by natural purification method, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2), 285-292.
- Lee, S.G., Seo, D.C., Choi, I.W., Kang, S.W., Lim, B.J., Lee, J.B., Kim, S.D., Heo, J.S., Cho, J.S., 2012. Evaluation of aquatic ecological efficiency in juam lake eco-wetlands for reducing non-point source pollutants, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2), 317-324.
- Lim, K.H., Ryu, S.J., 2006. Treatment of the slurry-type swine wastewater by coagulation MAP-crystallization and MBR process, *Korean J. Society of waste management*, 45(8), 656-665.
- Min, K.S., Kim, Y.J., Nam, K.H., Ahn, J.H., 1998. Advanced treatment of piggery wastewater by MAP, precipitation and ozone oxidation process using pilot plant, *J. Korea solid waste Engineering Society*, 15(16), 646-654.
- Ministry of environmental, 2011. *White Paper of Environmental*, Korea.
- Park, J.H., Seo, D.C., Kim, A.R., Kim, S.H., Lee, S.T., Jeong, T.U., Choi, J.H., Kim, H., Cho, J.S., Heo, J.S., 2011a. Optimum configuration method and livestock wastewater loading for treating livestock wastewater in constructed wetlands by natural purification method, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(2), 278-284.
- Park, J.H., Seo, D.C., Kim, A.R., Kim, S.H., Lee, S.T., Jeong, T.U., Choi, J.H., Kim, H., Cho, J.S., Heo, J.S., 2011b. Optimum pre-treatment method in constructed wetlands by natural purification method for treating livestock wastewater, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3), 278-284.
- Park, S.M., Bae, H.B., Park, W.K., Park, N.B., 2010. Removal of nutrients using an upflow septic tank (UST)-aerobic filter (AF) system, *Kor. J. Environ. Agric.*, 29(3), 232-238.
- Seo, D.C., Cho, J.S., Lee, H.J., Heo, J.S., 2005. Phosphorus retention capacity of filter media for estimating the longevity of constructed wetland, *Water Research*, 39(11), 2445-2457.
- Seo, D.C., Jang, B.I., Jo, I.S., Lim, S.C., Lee, H.J., Cho, J.S., Kim, H.C., Heo, J.S., 2006a. Selection of optimum water plant in constructed wetland by natural purification method for municipal sewage treatment. *Kor. J. Environ. Agric.* 25(1), 25-33.
- Seo, D.C., Lee, B.J., Hwang, S.H., Lee, H.J., Cho, J.S., Lee, S.W., Kim, H.C., 2006b. Treatment efficiency of existing forms of pollutants in sewage treatment plant by natural purification method, *Kor. J. Environ. Agric.*, 25(2), 129-137.
- Seo, D.C., Park, J.H., Kim, A.R., Kim, S.H., Lee, S.T., Jeong, T.U., Choi, J.H., Lee, S.W., Cho, J.S., Kim, H.O., Heo, J.S., 2011. A study on the improvement of treatment system using constructed wetlands, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3), 434-441.
- Won, C.H., Kwon, J.H., Rim, J.M., 2009. Effect of ammonia nitrogen loading rate on the anaerobic digestion of slurry-typed swine wastewater, *J. of Korea*, 17(1), 49-57.
- Yang, L., Chang, H.T., Huang, M.L., 2001. Nutrient removal in gravel and soil based wetland microcosmos with and without Vegetation, *Ecological Engineering*, 18, 91-105.
- Yun, C.K., Kwon, S.K., Kwon, T.Y., 1998. Feasibility study of constructed wetland for the wastewater treatment in rural area, *The Korea Society of Agricultural Engineers*, 40(3), 83-92.